

出國報告（出國類別：會議）

## 出席「空中輻射偵測進階數據分析研習 會議」出國報告書

服務機關： 原子能委員會輻射偵測中心  
陸軍化生放核訓練中心

姓名職稱： 劉祺章 技正  
黃鈺棠 組長

派赴國家： 美國

出國期間： 107年4月14日  
至107年4月22日

報告日期： 107年6月14日



## 摘要

本次美國能源部核子保安局舉辦之空中輻射偵測進階數據分析研習會議，以專題的方式讓參與人員能夠針對數據分析的各種不同技巧，進行參數微調差異的嘗試，應用各種不同的條件活用各種分析方法，以熟悉該系統新版軟體數據分析功能。並藉由本次研習會的機會，可無償取得美方提供新版軟體的使用權。全面升級國內目前的系統，提升國內空中輻射偵測的技術與數據分析能力。也利用此機會與挪威軍方交換輻射防護主管機關與軍方合作的經驗。空中輻射偵測屬高階且技術層面高的一項技術，需靠儀器裝備保養人員、直升機駕駛、偵測人員及分析人員等不同專業領域人員團體合作而成，實屬不易維持及推廣的偵測技術，應藉由國內各項訓練、演習及講習等，賡續維持國內空中輻射偵測技術，以有效執行相關任務。

## 目次

一、	目的 .....	1
二、	過程 .....	2
三、	心得及建議.....	21
四、	附錄 .....	24

## 一、 目的

空中輻射偵測系統可強化我國於核子事故當下及核子事故後對國土大範圍輻射污染之調查技術與核子事故應變能力。日本福島事故之後空中輻射偵測快速提供污染分布圖，目前對於污染復原的監測也提供重要的參考資訊。

國內空中輻射偵測系統的數據擷取與分析作業，係使用美國所開發的數據圖像化整合系統(AVID)第 1.86 版，該軟體已改版至 2.6 版，增加部分資料分析功能與改善系統操作穩定度。過去研討會多著重於儀器基本操作與任務規劃，對於數據分析僅教導操作方法，並沒有針對其特性與原理多做說明。

本次美國能源部核子保安局舉辦之空中輻射偵測進階數據分析研習會議，以專題的方式讓參與人員能夠針對數據分析的各種不同技巧，進行參數微調差異的嘗試，應用各種不同的條件活用各種分析方法，以熟悉該系統新版軟體數據分析功能。並藉由本次研習會的機會，可無償取得美方提供新版軟體的使用權。全面升級國內目前的系統，提升國內空中輻射偵測的技術與數據分析能力。

## 二、 過程

本次研習會議主要為挪威輻射防護局(Norwegian Radiation Protection Authority)所提出，規劃採挪威自行發展的設備與美國的系統同時於研討會場(美國內華達州核彈試驗區)進行量測比對作業。其餘國家則針對量測結果進行分析與技術交流。

### 1. 行程安排

這次的研習會議時程為 4 月 16 日(一)至 4 月 20 日(五)，議程安排如附件。行程概述如下：

日期	行程
4 月 14 日	桃園至洛杉磯轉拉斯維加斯
4 月 15 日	會前聚會
4 月 16-18 日	沙漠岩機場進行核彈坑飛行輻射偵測與數據分析
4 月 19-20 日	背景飛行輻射偵測及數據分析與參訪核子試爆博物館
4 月 21-22 日	拉斯維加斯至西雅圖轉桃園

### 2. 會前說明會

由於這次會議舉辦的地點主要位於美國內華達保安場址(NNSS, Nevada National Security Site) 的沙漠岩機場，該區域前身即為內華達核子試爆場，為地處沙漠地區的管制區域，一般人無法進入。過去在此舉辦的相關活動，大都由美國能源部主辦單位租巴士接送所有與會人員，以利保安管制。但因為這次參加人數較少，加上挪威團隊因為有儀器運送之需求，所以比其他國家團隊提早一星期抵達，且自行租賃車輛運送儀器與人員。其餘與會人員在前置聯繫作業時，透過電子郵件協商後，均同意交通工具以租賃車輛的方式來進行。因此，在會議前一天，除加拿大團隊尚未抵達外，台灣、法國與國際原子能總署參加人員，由主辦人 Dr. Piotr Wasiolek 夫婦邀約至咖啡廳舉行歡迎會，並說明各單位搭乘車輛與交通路線之安排，並就生活須注意事項加以說明，例如管制區域不得攜帶任何筆電、手機及照相機等電子產品，以及如需使用手機導航、沿途遇到修路狀況時的替代道路安排等的處理方式提醒。

與會人員中有幾位是第一次參加空中輻射偵測技術交流，因此也藉此機會彼此自我介紹相互認識，並交換各國進行輻射量測與緊急應變規劃工作經驗，氣氛十分融洽愉快。也確認國際原子能總署與會人員，在會議期間都和台灣團隊同車參與各項活動。



圖 1 會前說明會

### 3. 自訂方程式進行量測背景扣除及高度修正實作

將空中偵測值修正至地面的劑量率是過去數據分析必要進行的研習項目，本次研習與過去不同之處，在於介紹如何使用自訂方程式的方法來進行修正。利用在莫哈維湖(Lake Mohave)及附近區域進行高度修正參數以及水線背景扣除的飛行偵測數據，將陸地飛行不同高度的區域與水面不同高度飛行的區域進行遮罩選取與儲存如圖 2。

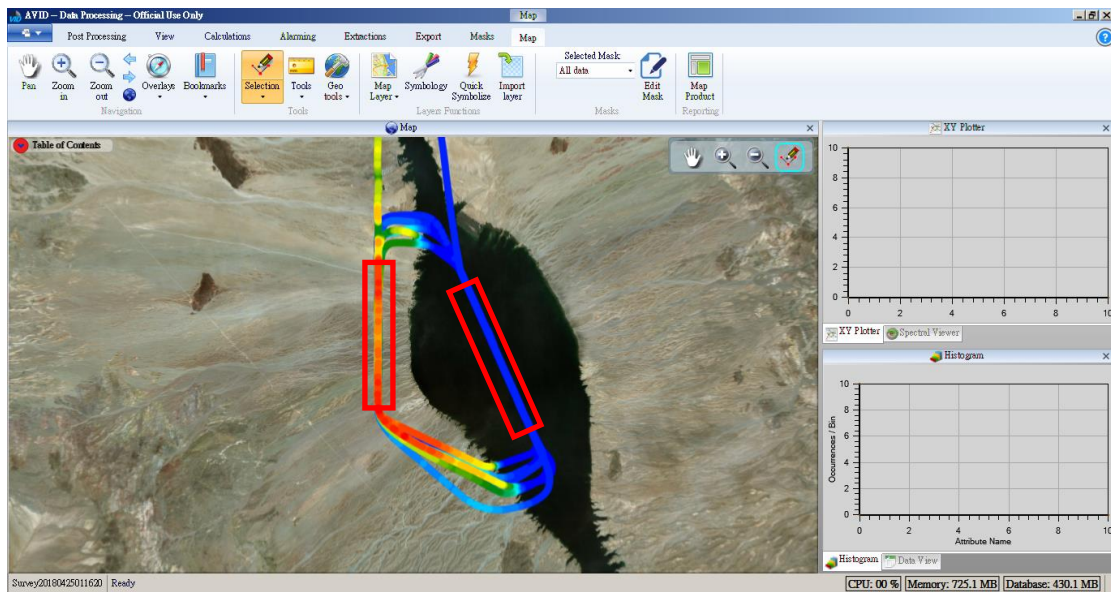


圖 2 參考陸域與水線遮罩選取

在 XY Plot 視窗中分別作圖，X 軸使用雷達測距所得到的真正高度，Y 則是 4 個偵檢器計數值相加的總和。由於實際應用時飛行的高度不高於 1000 英尺，所以再將 1000 英尺以下的數據點分別對陸地與水線數據作新的遮罩，並排除明顯不符合需求的數據。顯示範圍屬性改為新的遮罩如圖 3。

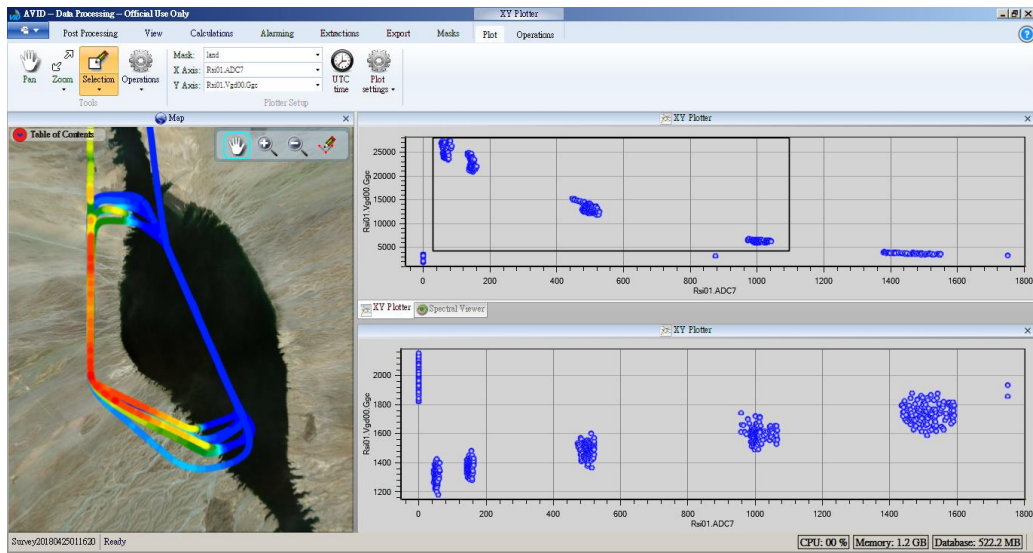


圖 3 遮罩數據於 XY Plot 作圖

點選 Operation，對於水面測得數據建議以三次多項式加以擬合，取得水面背景隨高度增加的最佳化三次方程式如圖 4。

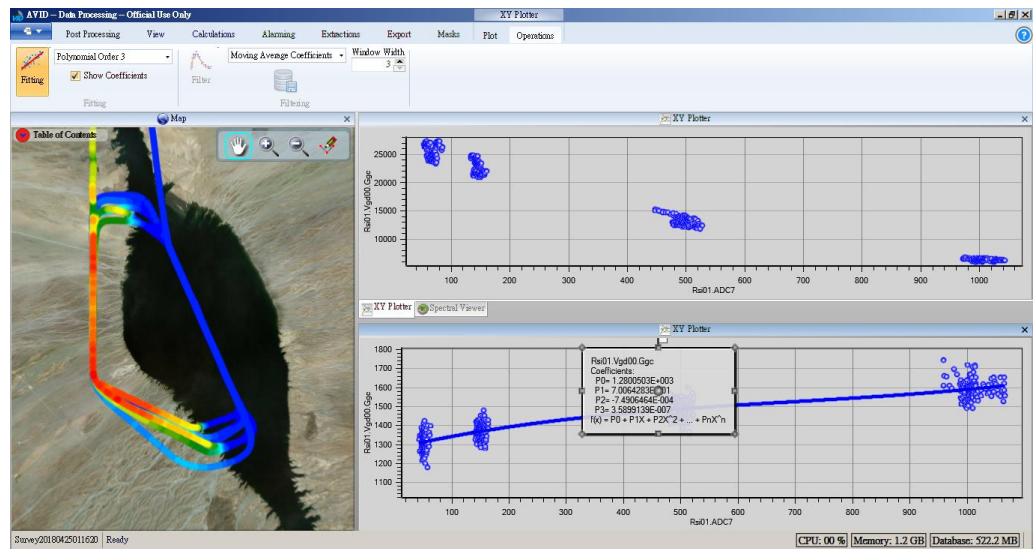


圖 4 使用 Fitting 功能擬合水線隨高度變化的背景值

當使用 2.6 版時可以將參數直接複製，以供方程式編修時使用，目前國內使用的 1.8X 版尚未提供此功能，必須手動抄下這些擬合的參數。

新增 DATA VIEW 視窗，選 Formula Editor 將總計數率扣除水線計算所得的三次方程式，並適當命名以區分為扣除水線後的陸域數據如圖 5。回到原先的 XY Plot 視窗，同時顯示扣除前後的偵測數據以確認扣除後數據略低於原始數據，如果三次方程式擬合有問題或是方程式輸入錯誤，有時會導致部分高度反而會增加計數值，此時就必須從新計算或修改方程式。方程式編輯有自行檢查語法的功能，對於常用的函數如對數、三角函數、統計函數等均已內建語法，可在下方 Functions 表單中直接選取，以減少



輸入錯誤。

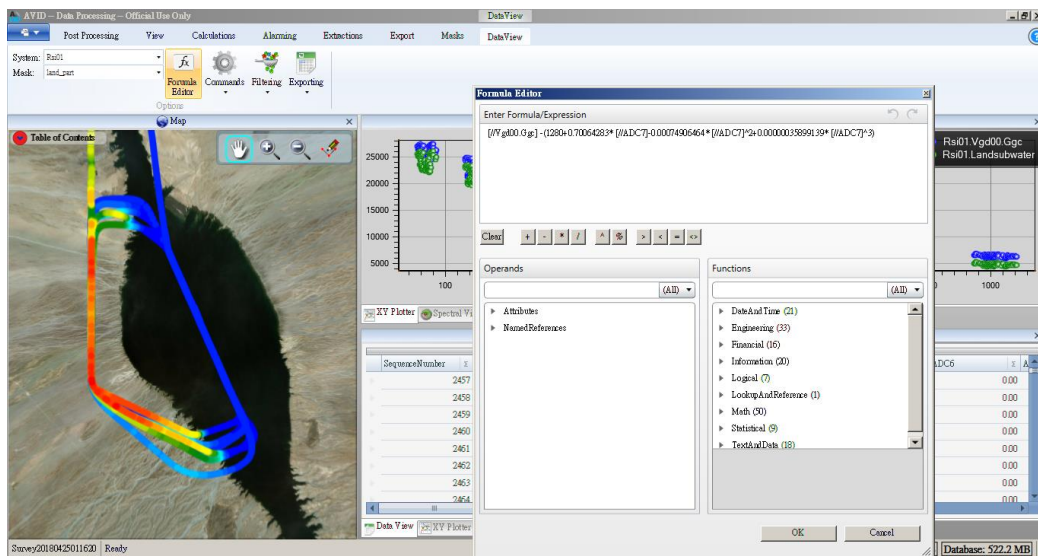


圖 5 使用方程式編輯器定義公式將不同高度量測值扣除不同高度水線背景

此時再點選 Operation，擬合函數改為 Least Square Exponential，進行擬合作業，即會出現兩個參數，其中 B 即為我們想要的高度修正參數如圖 6。沒扣水線所得到的結果為  $0.001499 \text{ ft}^{-1}$  扣水線後則變為  $0.001724 \text{ ft}^{-1}$ 。

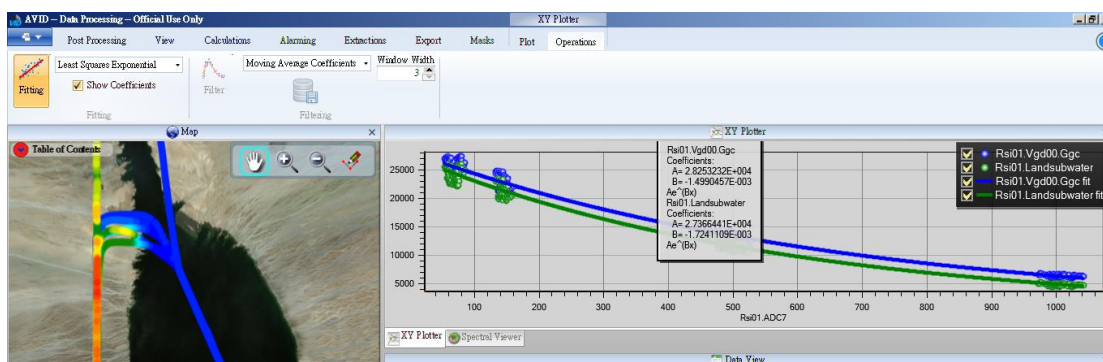


圖 6 擬合最佳的高度衰減係數

同樣的，為了確認此擬合參數是否正確，啟動 Formula Editor 將偵測數據進行  $\exp(0.001724*H)$  高度修正後，在 XY Plot 中呈現所有高度的計數值，修正後的數據應該在相同的計數變動範圍，如此則可確認所採用的擬合參數是正確的，如圖 7。如果修正後的結果，數據仍有隨高度降低或是增高的趨勢，就表示修正的方式有誤，必須重新檢視作業過程中是否有輸入錯誤或是資料選取錯誤的狀況。



圖 7 分析確認擬合所得參數可修正量測結果

使用 Selection 功能將所有數據選取，選用 Get Stat 則可得到在該參考陸域平均計數率值與標準差為  $27242 \pm 1415$  cps 如圖 8。如果，已經在該地區進行過精確的地面劑量率量測，假設量測結果地面劑量率為每小時 0.075 微西弗，便可開始進行整體劑量率分布的計算。

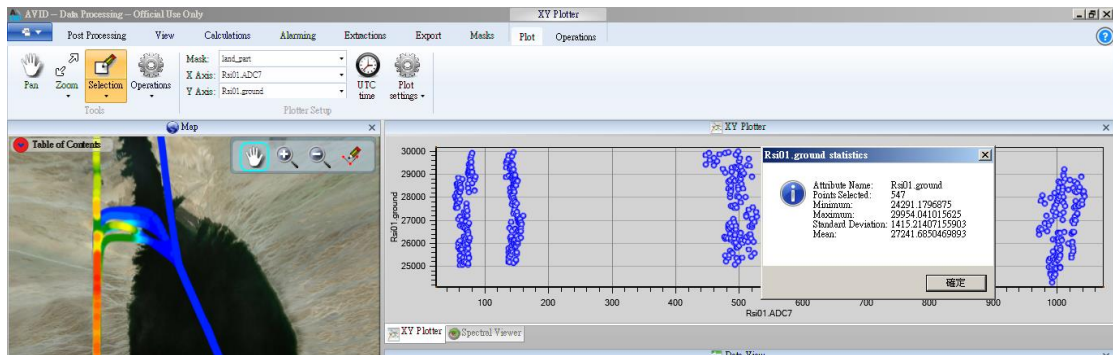


圖 8 統計地面量測計數率

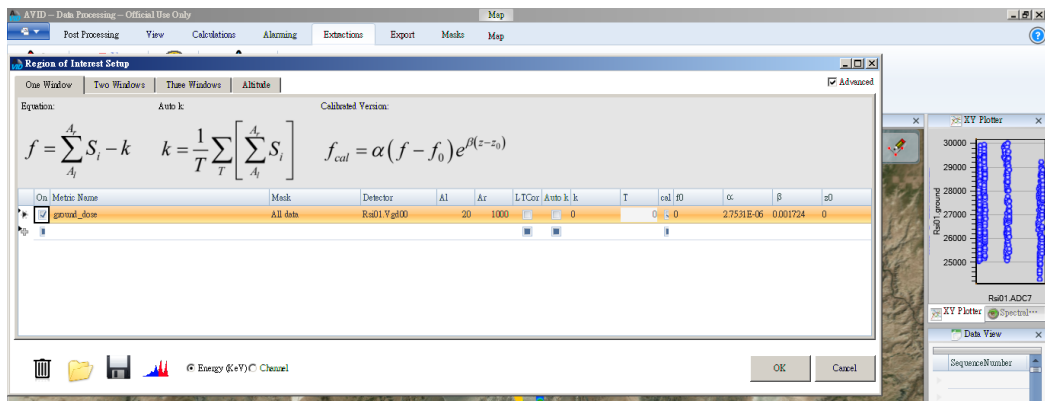


圖 9 使用 Extraction 功能進行高度修正

劑量率轉換的作法有兩種，一種是如上面所提直接引用方程式編輯的方式，建立一個新的屬性進行全域或部分遮罩的高度修正，並利用地面所測結果  $0.075/27242$  得到計數率(cps)到劑量率的轉換因子為  $2.7531E-6(\mu\text{Sv/h})/\text{cps}$ 。另一種是採用擷取範圍修正 (Extractions)，選取 Extractions 功能，範圍選取套用到所有數據，將前面計算所得的劑

量率轉換因子填入 $\alpha$ ，高度修正因子填入 $\beta$ ， $f_0$  填入水線的 P0 值如圖 9，再進行計算，也可得到修正後的劑量率分布。

比較不同的修正方式可發現差異不大如圖 10。但是就實際功能來說，使用方程式編輯器的修正方式，水線修正可以建立依據高度不同的背景值方程式做到更為精確的修正，但是使用 Extract 功能背景值只能設一個定值。由於國內目前不進行水線飛行，改為使用高於 2000 英尺的量測數據做為修正背景值，因此也不會有隨高度修正背景的需求。這兩種修正方法的使用不會有差異，端看操作人員熟悉哪一種作業方式彈性選擇。

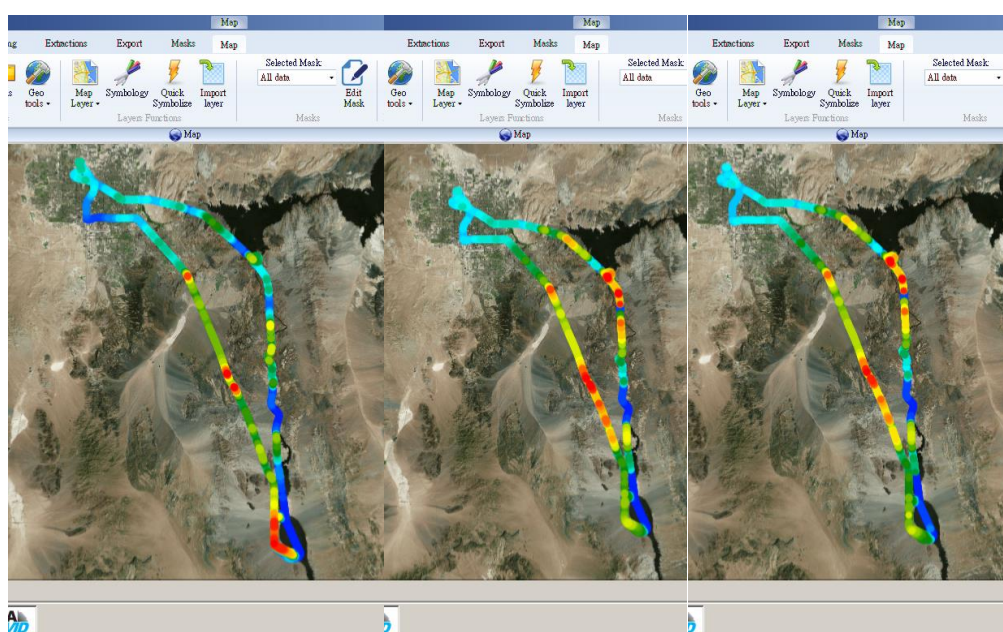


圖 10 水線與高度修正 (左)未修正前(中)Formula 修正法(右)Extract 修正法

使用方程式編輯(Formula Editor)來處理數據是過去沒提到的功能，可以用來測試不同資料屬性的關係與使用者自行定義處理資料的方式，讓 AVID 在數據分析與處理上，能擴展與強化內定的功能，在使用上更具彈性。

#### 4. 核種分布資訊擷取實作

為了提供本次研習所需，規劃飛 6 個管制區域與兩個背景區域，然而因為天候影響，最後僅飛了四個管制區域分別是 3 區、8&10 區、11 區與 30 區以及兩個背景區域。在資料分析中以前三個區域討論較多。3 區是過去研習主要進行練習的區域，因此仍然是一開始練習分析銻 137 與銻 152 於不同彈坑分布的範本。本次研習加強探討銻 241 的分析技巧，11 區為銻 241 主要分布的區域。8&10 區中有個十分著名的薩當彈坑(Sedan Crater)，是參觀 NNSS 必安排的景點。當初是為了原子能和平用途所設計的一次地底

核爆，將超過千萬噸的土石位移所形成的坑洞，目前可以讓一般民眾透過美國能源部開放的每月參觀行程，登記前往該彈坑參觀，也成為這次數據分析中大家討論較多的一個彈坑。

首先以 3 區的結果複習過去的分析作業，首先進行劑量率的修正，然後使用圓形遮罩功能在彈坑處選取範圍後，選用 Invesgate 功能，可以確認主要的污染核種為鈉 137 與鎊 152。再將該遮罩儲存，選用高斯擷取(Gaussian Extraction)功能，在畫面中利用核彈坑的數據點總和，選取鈉 137 的能峰範圍，建立擷取參數，然後將使用範圍改為選取 3 區偵測區域如圖 11。同樣的方式選擇鎊 152 的能峰，由於鎊 152 的能峰很多，考量能量盡量取高能量的部分以及豐度盡量高，建議取 964keV 或 1112keV 能峰來代表。

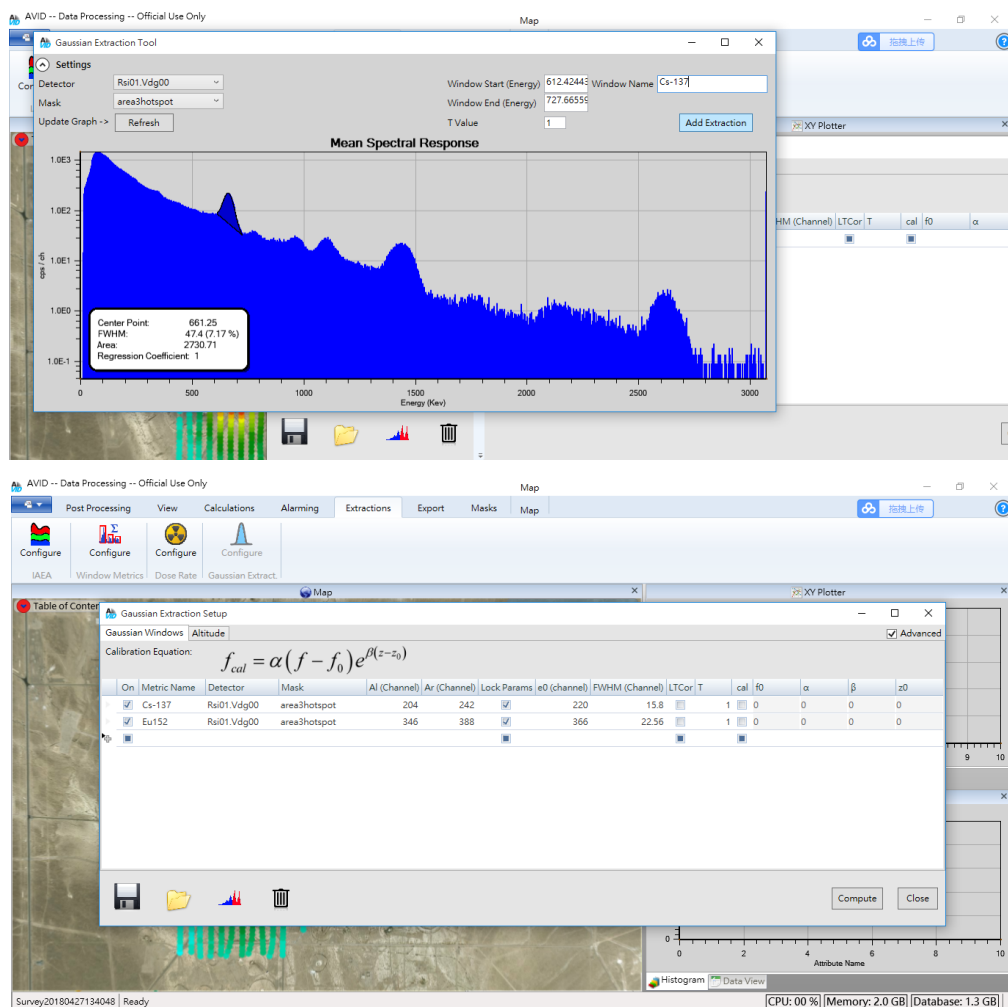


圖 11 (上)選取核種能峰範圍(下)建立擷取的參數並選擇適當的應用遮罩區域

計算結果繪製分布圖如圖 12，可看出三個核彈坑中，只有一個具有較高的鈉 137，其他兩個則是具有較高的鎊 152。污染物的不同代表產生該彈坑的核彈設計與核原料配方有差異。

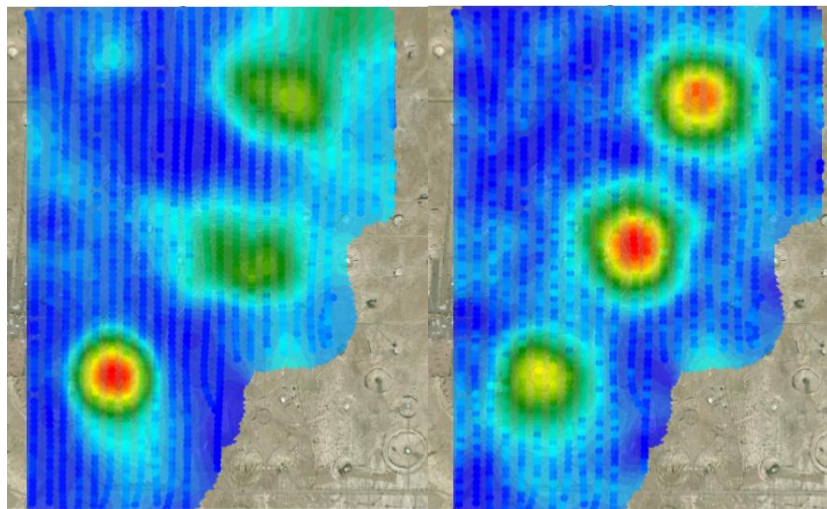


圖 12 不同核彈坑污染差異(左)銻 137 污染分布(右)銻 152 污染分布

由於量測儀器的設計與設定並沒有改變，所以可直接套用分析 3 區時所設定的高斯擷取參數，改變應用的遮罩範圍來進行 11 區銻 137 與銻 152 污染分布分析。分析結果卻發現兩者都無法得到明確的分布資訊，採用直方圖統計結果分布銻 137 為負值而銻 152 中值為零，也就是該區域污染核種並非這兩類。於是將核彈坑數據進行遮罩選取並作 Investigate，由能譜確認主要核種是銻 241 的污染如圖 13。

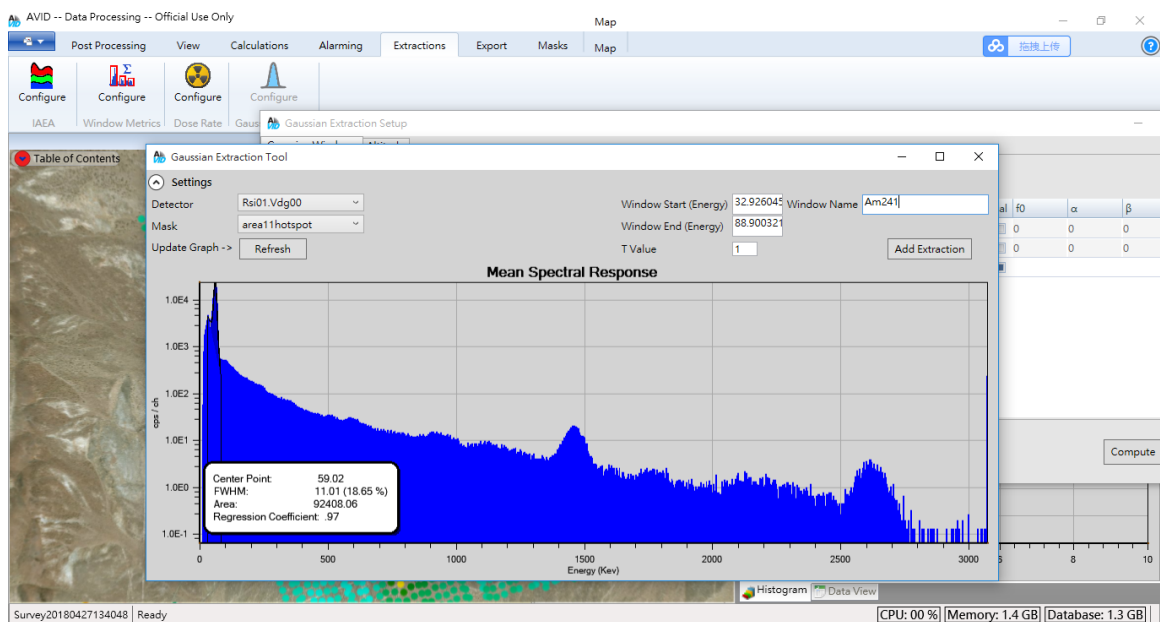


圖 13 位於 11 區的核彈坑污染能譜

比照上述方式，建立銻 241 的能峰擷取範圍，對於偵測區域進行污染分布分析計算，如圖 14(A)，可看出三個核彈坑的污染分布差異。由於使用高斯擷取法往往在多種污染核種同時存在時，會有能峰重疊造成非高斯波型，影響擷取數據精準度問題。為了提高鑑別敏感度，因此美方依過去經驗，建議測試雙視窗法，原理是利用兩段能

區的總計數值比例來研判可能的污染計數。過去常常使用雙視窗法作為人造核種的快篩，由於 1360keV 以上的能量主要來自天然核種，大多數人造核種都會低於 1360keV，因此利用背景量測結果取得兩邊總計數率的比值，偵測儀疑似污染樣品時，可將低能量區域計數值扣除高能量區域計數值對低能量區域的影響，便可提高人工核種分布資訊的敏感度。

使用雙視窗法要得到較高斯法更好的結果，視窗範圍的選擇十分重要。經大家討論結果，可以選擇鉬 241 的能峰範圍當作第一視窗，相同的能量範圍但平均能量高於鉬 241 主能峰接續的範圍作為第二視窗，所得結果如圖 14。然而，在這個案例中顯示與高斯擷取法所得的結果差異不大。

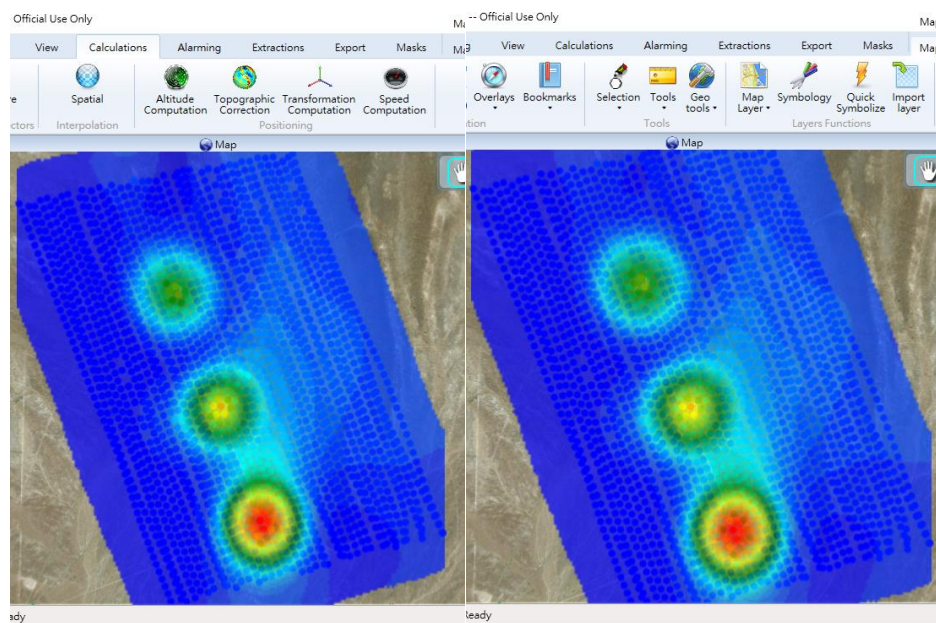


圖 14 不同方法測試分析 11 區核彈坑鉬 241 分布(左)高斯擷取法(右)雙視窗法

第 8&10 區的量測是以薩當彈坑為主，量測結果進行劑量率轉換後，繪製分布圖如圖 15。由圖中可發現輻射劑量率分布的模式與其他彈坑完全不同。彈坑中的輻射劑量很低，主要的劑量率分布反而在彈坑外東南方。同時在彈坑西方略偏北處也有一個小範圍的污染。究竟是甚麼原因造成這樣的差異引起大家的討論。於網路查閱有關文獻，得知這次的試爆是地底 190 公尺處的測試，因此推測大部分的輻射物質仍被侷限在地底，只有部分污染物隨熱釋出並與被爆炸威力推開的沙石分布在彈坑周圍。由於彈坑附近劑量率不高，由空中偵測的數據推估，最高處大約每小時 1.5 微西弗，所以可提供一般民眾不需穿著任何防護裝備前往參觀。

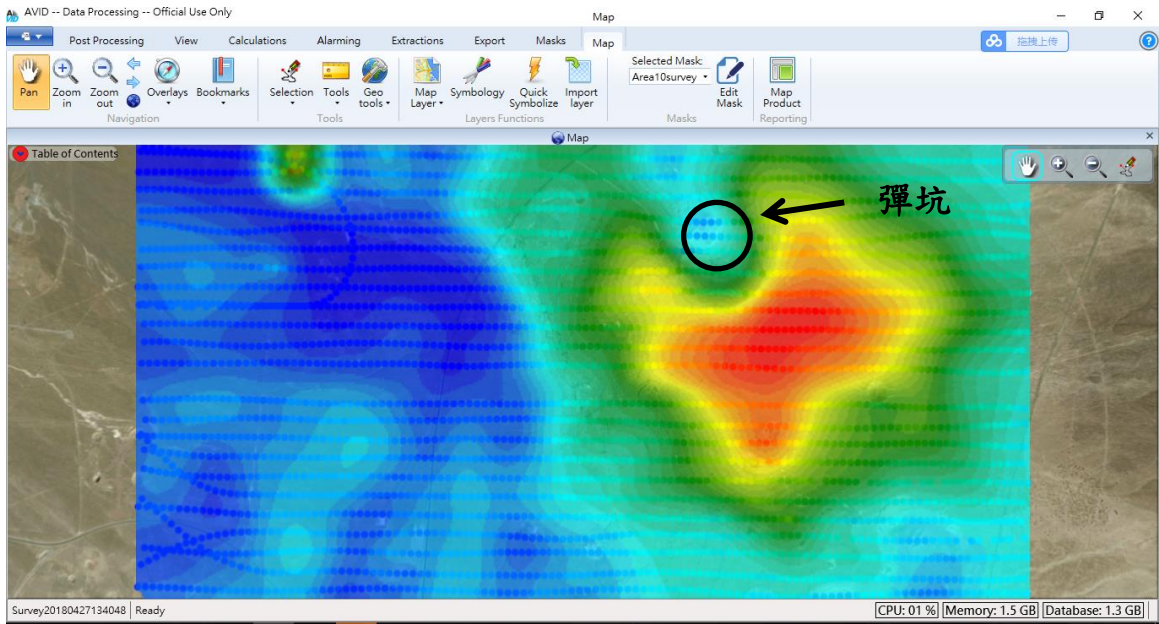


圖 15 空中偵測數據推估薩當核彈坑附近地表劑量率分布圖

接著進行污染區域核種分析，首先對銫 137 進行分析，分析結果如圖 16，在彈坑附近的分布狀況大致與劑量率分布相同，所以確定主要污染物質為銫 137。但是位於西北西方的高劑量區域則完全消失，顯示該區域不是受到銫 137 污染而需再進行其他核種的探討。

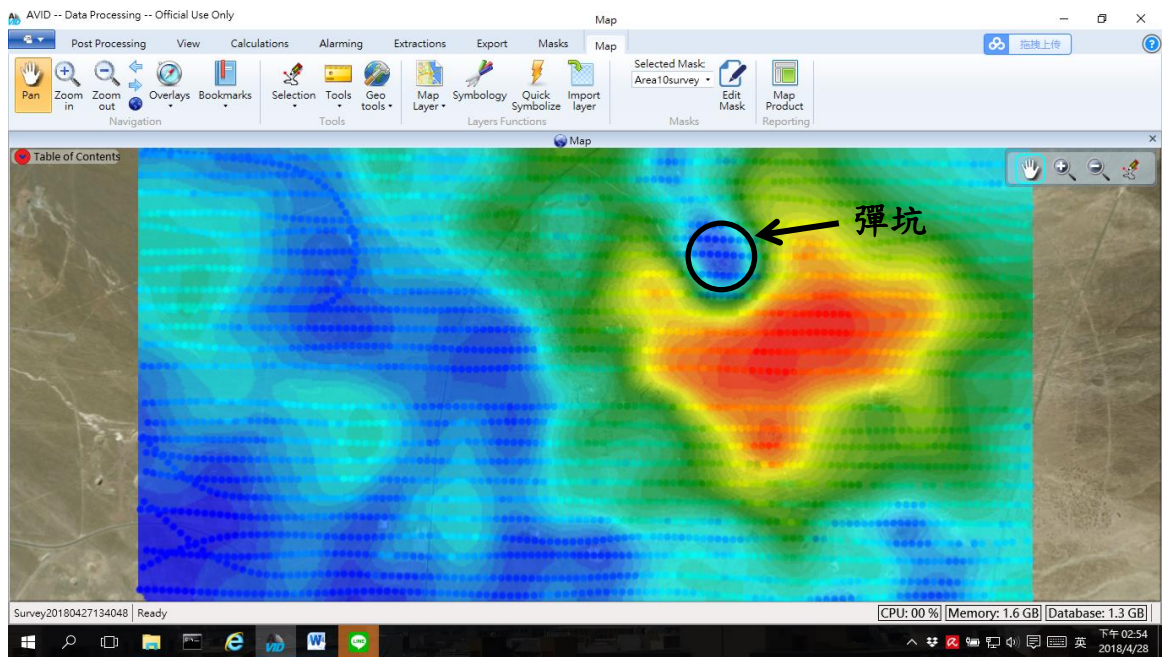


圖 16 薩當核彈坑銫 137 計數率分布圖

使用銻 152 分析結果顯示無污染分布，改用銻 241 分析則可發現在西北西方的污染區域主要是來自於銻 241 核種，在核彈坑周圍也有少量的污染分布，但是在彈坑內則與銫 137 一樣沒有污染，如圖 17。

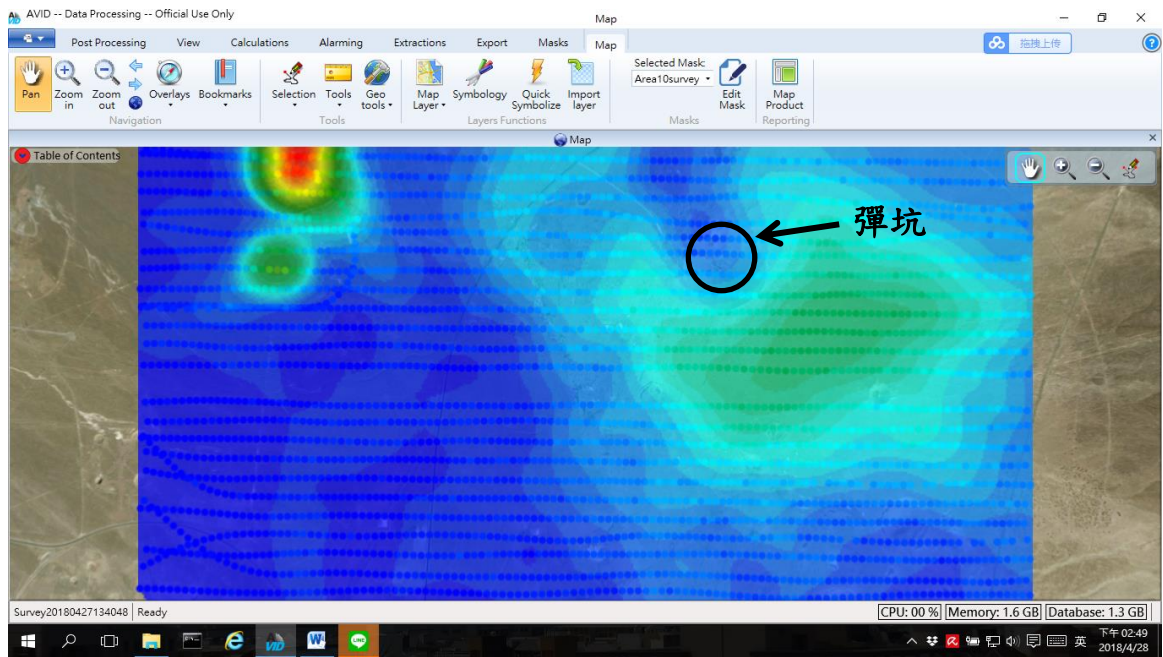


圖 17 銻 241 污染分布顯示西北西方的劑量率主要來自銻 241

再使用雙視窗方進行分析，西北西方的污染分布仍然差異不大，但是在薩當彈坑中就有的不同的結果，這次顯示彈坑中也有少量的銻 241 如圖 18。

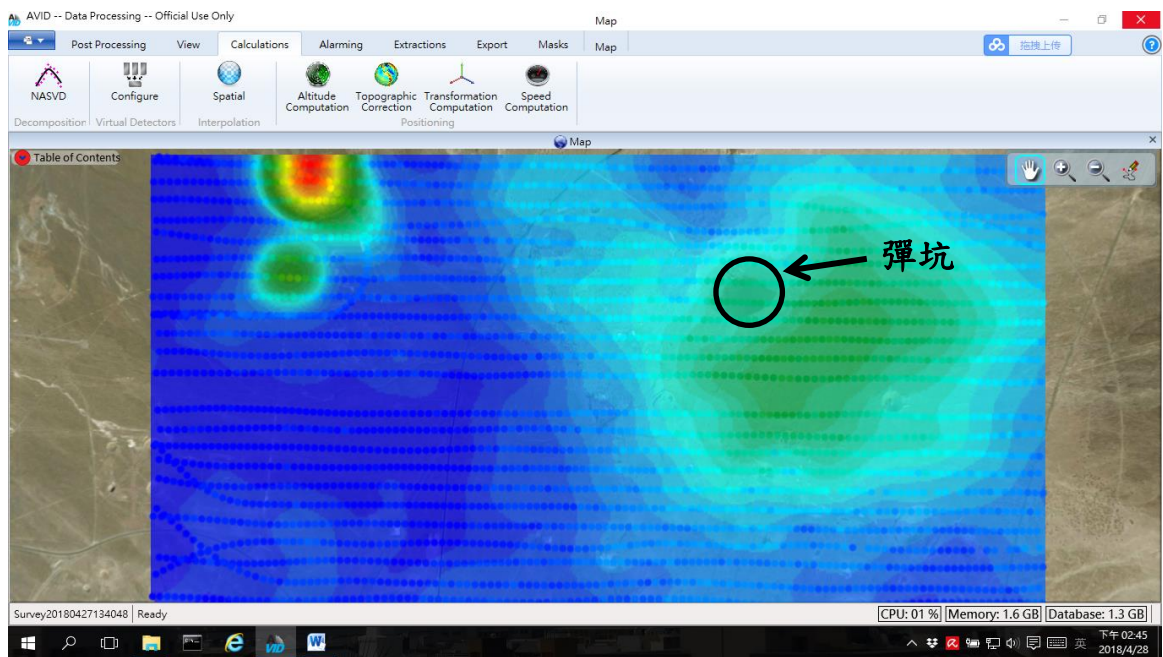


圖 18 雙視窗法分析銻 241 污染分布

由於銻 241 的能量不高只有 59.5keV 很容易被環境物質屏蔽，因此能夠偵測到的應該是只有表層的土壤污染，且相關的屏蔽及散射影響難以評估，造成在偵測與分析技巧上本來有相當大的困難。加拿大團隊提出一個背景扣除的模式，不是扣除水線資料而是無污染的背景能譜並展示結果，銻 241 的分布在西北西方的位置被強化，但在



彈坑附近竟然就完全沒有。挪威團隊更是顯示用鈷 60 分析可以發現有部分區域有數據。但是經過討論均認為鈷 60 應該是鉀 40 的康普吞邊界(Compton edge)誤判，而加拿大的扣法會造成過度扣除，反而會失去一些資訊，但是加拿大的作法對於銻 137 的分布則可能有較高的感度。各國對於此彈坑分析結果的討論，美方也參與表達一些過去量測的經驗，究竟是哪一種方法比較好最後並未達成共識，必須視各種污染狀況與污染核種而定，因此需要透過不同方式的分析嘗試後，再共同討論才不會造成誤判。

## 5. 資料庫合併分析實作

如果輻射污染區過大，無法規劃於一次飛行任務完成偵測，而必須進行多次飛行後才能涵蓋所有範圍時的作業方式，這次以 30 區的彈坑分兩次飛行來進行實作演練。飛行任務結束後，首先開啟第一次飛行偵測的結果資料，然後再以資料庫匯入的方式開啟第二次的量測結果，便可完成合併作業如圖 19。

然而在執行資料庫合併時，建議在飛行規劃時要設定適當的重疊區域，也就是飛行進行時大約有一、二條路徑是重疊的，藉以確認兩次量測的差異。當兩次量測作業來自不同團隊的不同量測系統時，更應該注意此問題，才能夠將不同團隊分別作業內容整併成完整的污染分布圖。

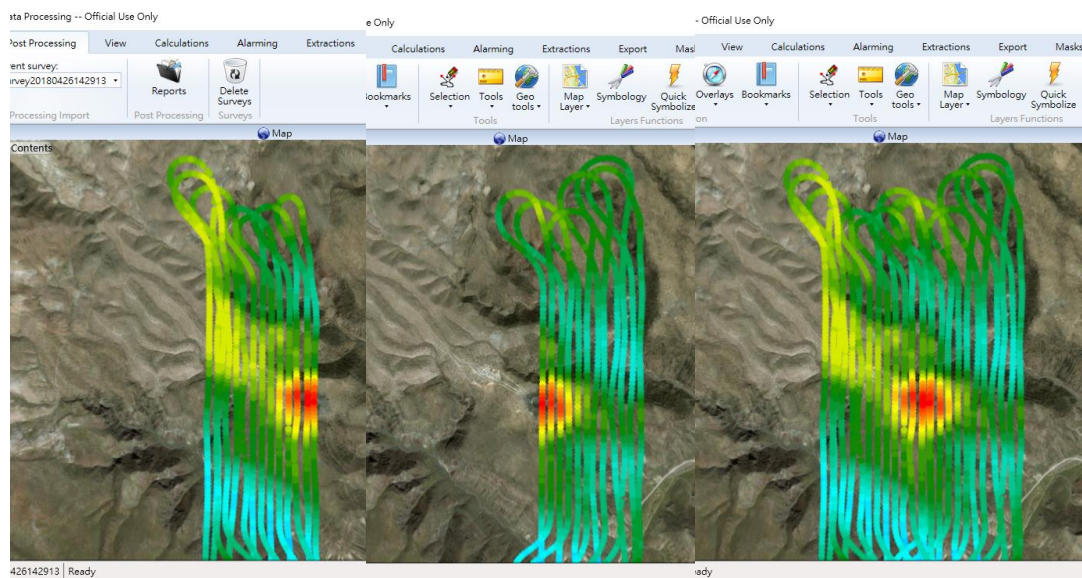


圖 19 資料庫整併範例(左)第一次飛行(中)同一天第二次飛行(右)整併後的結果。

以這次的偵測為例，就有兩條線是重疊的如圖 20，因此可以個別取遮罩，再以 XY Plot 畫出不同次飛行但是相同路徑的偵測結果差異。雖然路徑規劃是相同的，但兩次飛的實際路徑卻會有些差異，也導致了量測結果不完全相同，但是初步研判差異不大。如果使用不同的量測系統，就有可能造成系統的偏差，可以利用統計方法確認偏差程

度，再利用方程式編輯加以修正，讓兩次的作業結果不會有太大的差異。

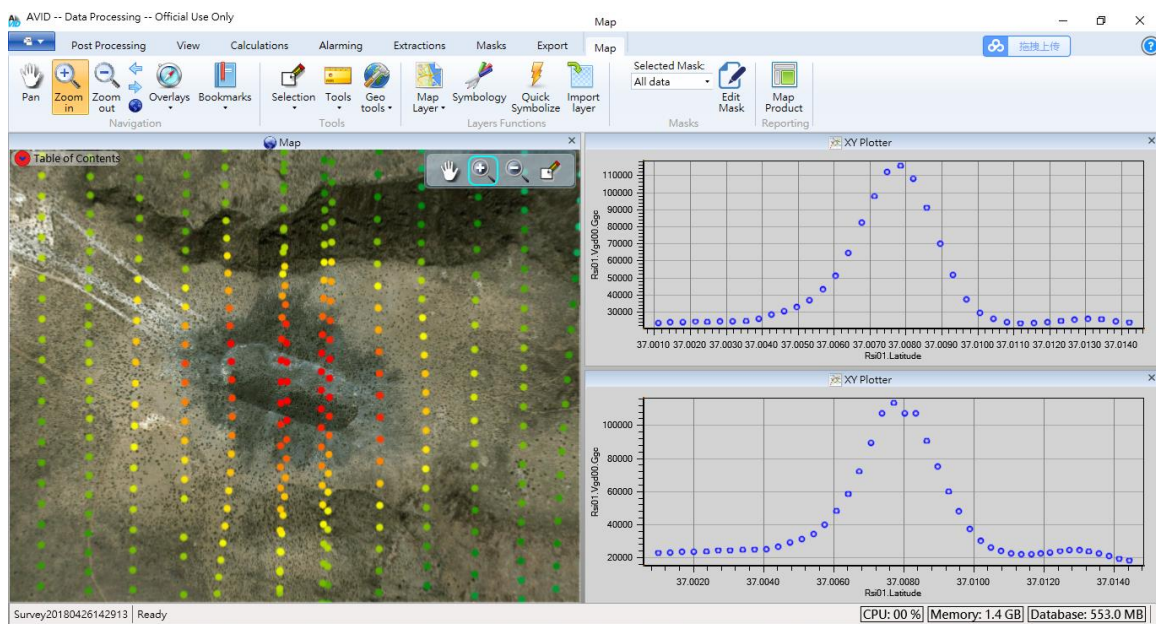


圖 20 兩次任務資料重疊區域比對

## 6. 地形高程修正實作

地形高程修正是台灣團隊所提出的議題，由於目前在台灣所使用的直升機並未安裝雷達測距儀，因此高度資訊是透過衛星定位推算所得的海拔高度，無從得知真正距離地面的高度，因此當進行劑量率對高度修正時便會衍生出相當大的誤差。在實務上，建議透過數位高程模式(DEM, Digital Elevation Model)數據來進行修正。實作練習以偵測 3 區的结果為例，選擇飛行過程中地形變化較大的區域進行遮罩選取。將遮罩內的數據高度資訊以 XY Plot 作圖如圖 21。

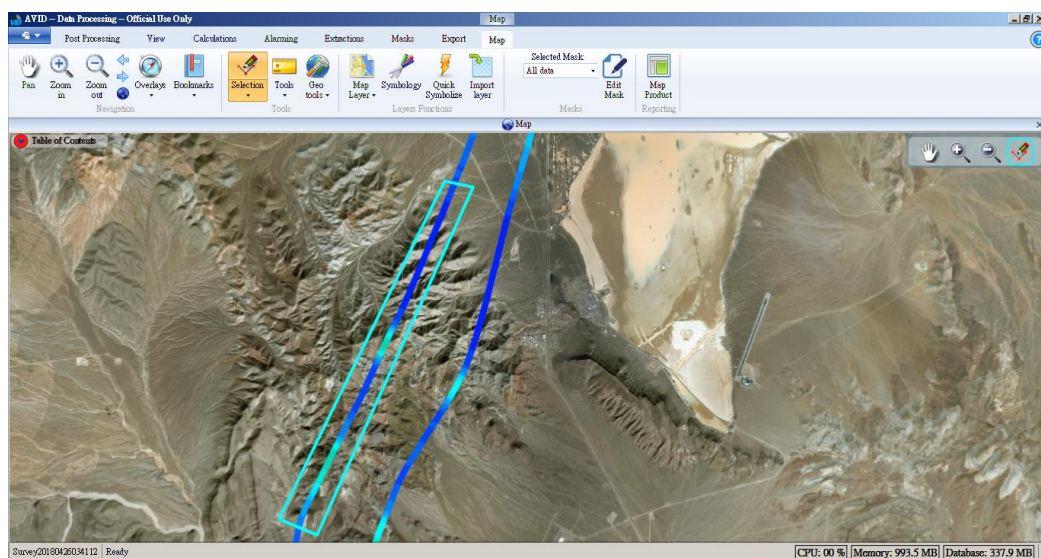


圖 21 選取地形差異較大的區域

在美國的輻射偵測系統中，直升機鼻翼處裝有雷達測距儀器，可量得實際地對地高度，雷達測距儀所測得的高度資料屬性為 AD7，利用衛星定位推測所得的海拔高度資料屬性為 HAE。衛星定位的結果顯示飛行高度穩定在 1500-1600 公尺之間，但是實際量測高度卻隨著時間有很大的起伏變化如圖 22，可以看出地形高程的影響是個難以忽略的因素，必須加以修訂。假設沒有雷達測距儀的狀況下，引用數位高程模式資料檔來進行修正。

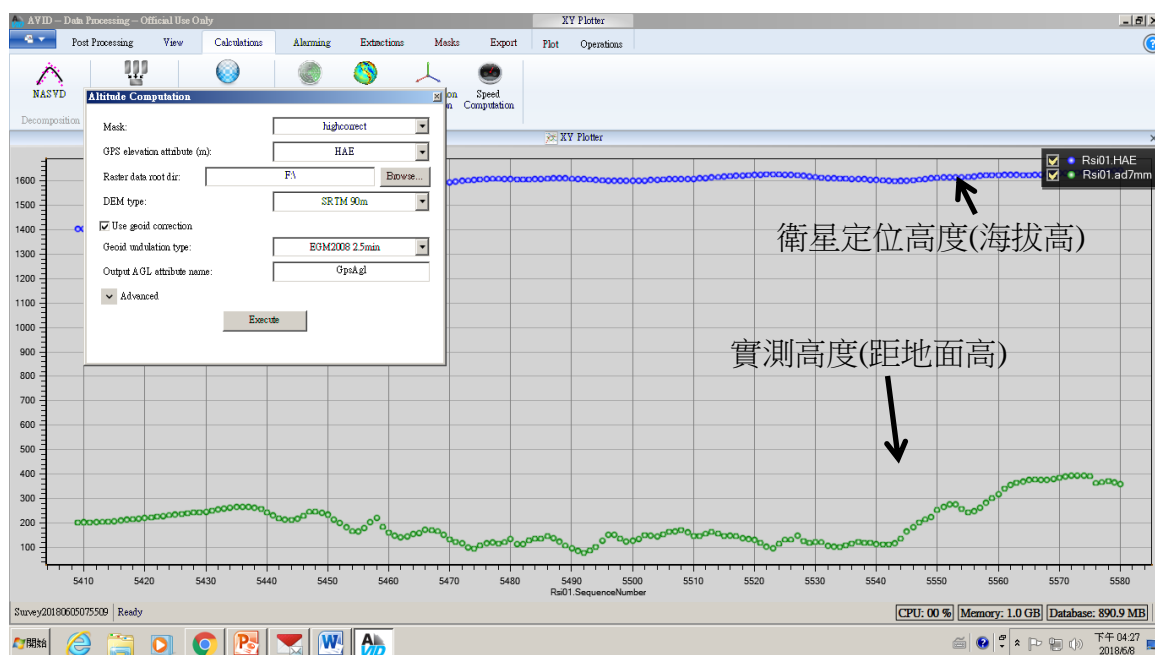


圖 22 衛星定位高度與實測高度之差異與修正畫面

選 Calculation，使用 Altitude Computation，Mask 欄點選需要換算的遮罩範圍，GPS elevation altitude (m) 選取 HAE，Raster data root dir. 選取 DEM 檔所在位置如 F:\，DEM Type 選 SRTM 90m，所謂 SRTM 即是太空梭雷達地形測繪任務(Shuttle Radar Topography Mission)，是由美國太空總署(NASA)和國防部國家測繪局(NIMA)聯合測量並提供免費下載使用，涵蓋全球地形高程資料。SRTM 提供的 DEM 數據資料庫有分為 1 弧秒與 3 弧秒兩種，約相當 30 公尺與 90 公尺的空間解析度，分別稱為 SRTM-1 與 SRTM-3 數據庫，其中 90 公尺解析度即可滿足空中偵測的需求。美方也提供另一個 NED 型態的地形高程資料，為美國國內高程數據集(National Elevation Dataset)只適用於美國國土範圍。此外還要勾選使用 Geoid Correction 修正高程基準點，Geoid undulation type 選用 EGM2008 2.5m，所謂 Geoid 是指海平面延伸推估陸地下方的高度基準點位置，直

觀的假設是將地球視為一個橢圓球，但實際上的作法大多是採用重力模式(Earth Gravitational Model, EGM2008)來推估陸地等重力面作為高度基準點。輸出項 Output AGL Attribute Name 可自行設定一個高度屬性，以上設定值確定無誤，即可點選 Execute 執行修正，如圖 22。

換算的作法啟動 Data View，使用方程式編輯器將高程修正後的高度乘上 3.2 倍即為英尺單位，再將換算修正的英尺結果增加至 XY Plot 圖內，此時可發現修正值與雷達測距儀所測得的結果差異不大如圖 23。所以可知在沒有測量實際高度的設備時，使用衛星定位與數位高程模型數據來進行推算，不失為是一個有效的修正方法。

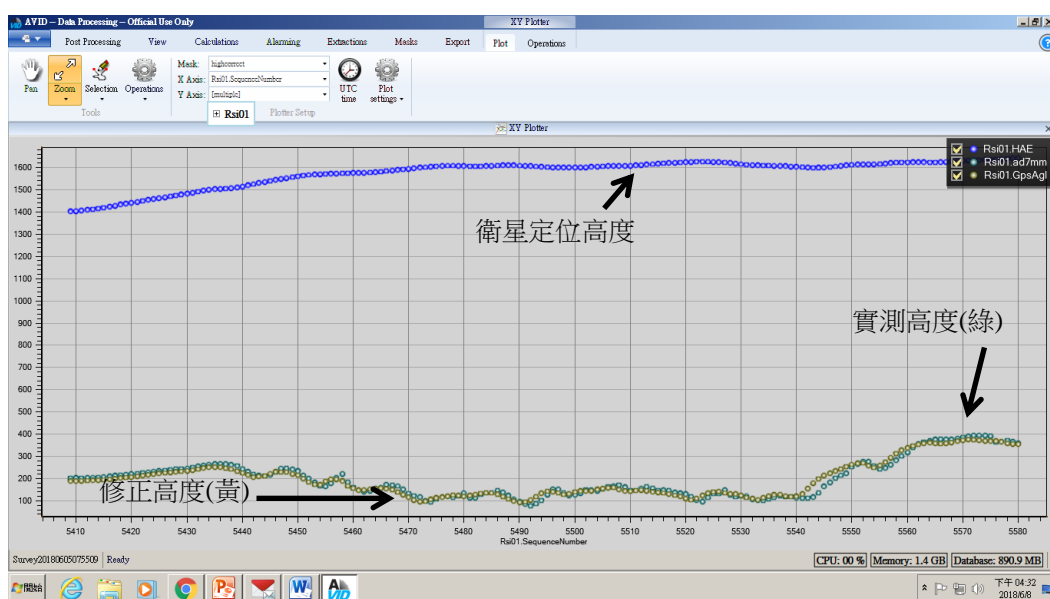


圖 23 地形高程修正後數據

雖然藉由數位高程模式地形檔的修正，可得到接近於使用雷達測距儀所測得的結果。然而，必須注意的是 DEM 檔的發行日期與實際量測位置的地理環境是否已經有了重大改變，如果受到人為開發、地震或風災等天然災害因素，導致地形條件已有大幅變更，此種修正方式也會失效，因此進行空中輻射偵測應該優先考量裝設雷達測距設備，來測量實際的距離地面高度，當無法裝設時才使用地形檔進行修正。

國內政府資料開放平台中，內政部提供 100 公尺網格數值地形模型資料，內含內含全臺灣 100 公尺網格之數值高程模型 (DEM) 及數值地表模型 (DSM) 資料，以及全臺灣 20 公尺網格間距的數值地形模型 (DTM) 資料，每一個網格點記錄該點之平面坐標與高程資料。這些資料定期更新，為修正台灣地區地形高程重要的依據。但是網

格距與 SRTM-3 格式不同，是否可直接匯入至 AVID 系統進行運算，仍需加以測試與探討。

## 7. 空中輻射偵測實際上機作業

黃鈺棠組長在第 4 天配合挪威輻射防護局人員共同上機進行操演，飛行的地點是拉斯維加斯市外圍的沖刷區域，執行陸域的背景輻射數據擷取。駕駛幾乎完全按照飛行任務所設定的路線飛行，如遇風速或地形地物之影響，駕駛透過調整直升機位置後，繼續回到指定路線飛行，飛行技術具備水準；而架設於直升機上的輻射監測系統，以水流圖(waterfall)的方式呈現即時輻射偵測數據，人員可於機上針對疑慮的水流圖圖形進行核種分析比對，然就突顯出操作人員的專業及經驗必需有一定水準，方能即時作出正確的判斷。



圖 24 空中輻射偵測作業實況

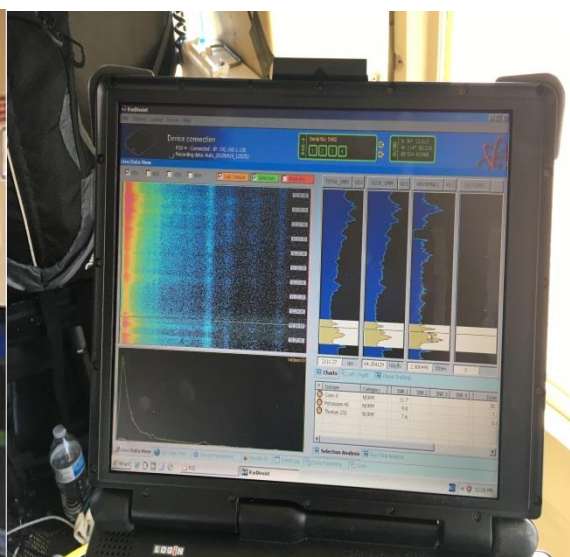


圖 25 偵測數據及時監測系統

在飛行的後半段，因當時大氣條件不佳風速持續增強，為了確保人員安全，駕駛直接判斷終止任務直升機返回機場，然而在這將近 1 小時的飛行裡，看到了駕駛幾乎完美地按照飛行任務路線飛行，操作輻射偵測裝備人員，除一邊持續掌握即時偵測數據外，並非常親切地解釋裝備各種功能及圖示，美國的駕駛及挪威的技術人員，各自展現其專業，令人印象深刻。

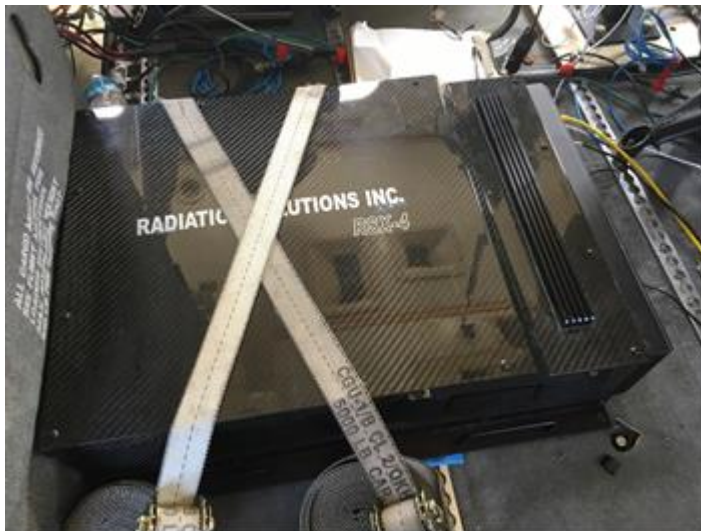


圖 27 挪威空中輻射偵測系統

## 8. 挪威軍方支援空中輻射偵測作業程序交流

挪威國內空中輻射偵測任務的執行，直升機也是由軍方支援。因此利用此次會議的機會，台灣與挪威也進行約一小時的技術交流。主要討論的議題包括：(1)軍方駕駛的訓練內容，(2)軍方參與空中輻射偵測的輻射防護做法，(3)軍方與挪威輻射防護局(NRPA)的介面。

目前挪威支援空中輻射偵測的軍種為空軍，在國內 8 個空軍基地中，有兩個基地擔負有搜救的任務，分別位於挪威南北部各一。由於挪威地廣人稀，聯繫極為不易，因此 NRPA 的輻射專家平時將儀器置於這兩處基地，每年定期前往確認儀器的狀態是否正常。當發生核子事故時，NRPA 並不會派人至基地，而是由空軍人員將儀器依規定固定在直升機上，空軍的駕駛會與 NRPA 人員電話確認建議規劃量測的範圍與飛行高度，並就範圍內可能的地形障礙等進行溝通調整後，即開始飛行偵測任務。任務結束後再將數據傳給 NRPA 的輻射專家分析確認，如有必要 NRPA 會再派遣人員進行後續的偵測任務。

對於駕駛的輻射防護由空軍自行負責管理。目前支援空中輻射偵測任務的直升機上配置有輻射偵檢器，駕駛不會去注意空中輻射偵測儀器的量測結果，而是以機上的輻射偵檢器作為輻射防護研判的基準。飛行的駕駛會記錄其任務執行所接受的輻射劑量，一旦超過年劑量 1 毫西弗，飛安管制即會安排其他駕駛進行任務。如果在任務前便得知可能受到偏高輻射劑量，例如該任務所受輻射劑量可能會超過 1 毫西弗，會請駕駛簽署風險告知確認書，以確認其充分了解增加額外劑量的風險(我方詢問是否有正式的文件簽署格式可供參考，他們告知雖有這樣的規定，但因為實務上幾乎不可能用

到，所以並沒有制式的文件格式)。執行任務的駕駛不須任何的防護措施(穿防護衣或戴口罩等)，但機上的輻射偵檢器除了有劑量率顯示外也有累積劑量的功能，一但超過 0.5 毫西弗便會發出警訊，駕駛被授權可斷然處置，立即停止任務回航。這些輻射管制措施均由空軍自行管控而非由 NRPA 執行。

由於軍方駕駛的戰術訓練不喜歡採取固定模式的飛行軌跡，以免在戰場中被鎖定而擊落。因此挪威空軍支援空中偵測的駕駛均為支援搜救任務的駕駛。在訓練上已經將格線飛行納入例行飛行訓練之中，並列入考核項目，因為格線飛行訓練未必要有輻射偵檢器在機上才能做，他們可以獨立進行而不需配合 NRPA。但他們也提到過去的經驗發現前兩條格線駕駛能夠配合飛在線上，之後的格線確實很難專心去完成，因此這次特別也安排挪威的駕駛與輻射專家一同上機，瞭解實際輻射偵測作業的全貌，更換角色以輻射專家的位置而非駕駛的角度來看任務的執行，他們也覺得改變了過去的一些想法，對於未來任務的執行更有把握。

## 9. 參觀核子試爆場博物館

由於星期五風勢過大直升機無法起飛，因此取消了原定的飛行量測安排與專案報告議程，挪威團隊前往美國能源部遙測實驗室進行裝備拆卸與清點測試，準備運送回國，其他人改為安排參觀位於拉斯維加斯市區內的核子試爆博物館(The National Atomic Testing Museum)。

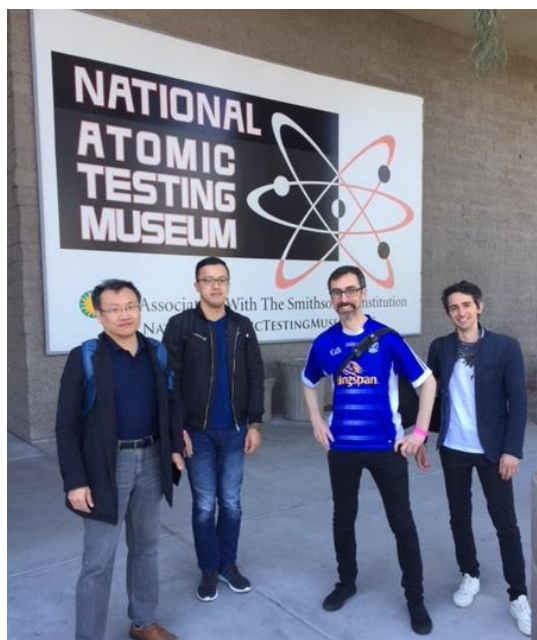


圖 28 參觀核子試爆博物館

博物館外有一個環境輻射監測站如圖 29，是美國能源部與沙漠研究學院合作的社

區監測計畫，可以提供包括拉斯維加斯地區在核子試爆場下風向區域的環境輻射資訊，監測結果公布於 <https://cemp.dri.edu/> 網站，可供民眾查詢。在監測站旁有一條紀念內華達試爆場 65 周年的星光大道，將核子試爆歷史名人做成地磚鋪設。

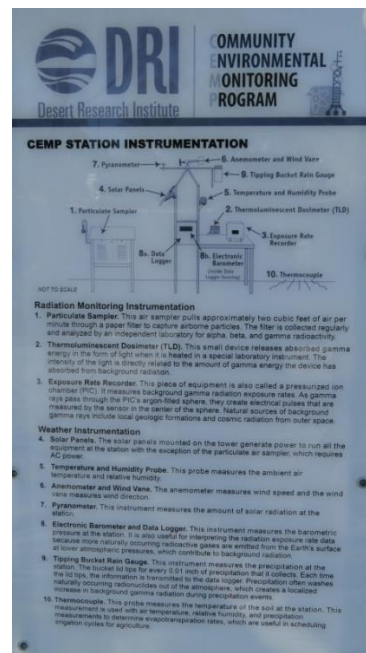


圖 29 博物館外輻射監測站

核子試爆博物館展出過去內華達核子試爆相關的各項器材與炸彈模型，並撥放各次核子試爆以及相關重要新聞的錄影畫面。過去在舊城區的賭場可以感受到試爆的地震與看到蕈狀雲，因此也有一些廣告以此為號召，讓觀光客可以在試爆時在賭場頂樓，感受科技的偉大力量。因此在博物館中有一間房間為體驗室，當大螢幕畫面出現核彈爆炸的影片時，便會開始搖動地板與吹出強風，讓參觀者體會當時觀看核子試爆現場的感覺。

博物館中展示了過去人們對於原子能應用的期待，由各式核武的發展與測試所使用的零組件，到各項民生應用可能性的嘗試，可看到當初為了發展核武，連帶的推動許多機械技術與材料的改進。當時將原子科技視為未來的希望，對比於現今大家對於輻射的排斥，實在不勝唏噓。如同相較於拉斯維加斯大道熙攘人潮，核試爆博物館僅幾位年紀大的老人家跟我們一起在裡面走動著，緬懷過去的原子榮光，也帶著幾分惆悵。



### 三、 心得及建議

這次參加進階數據分析研習會議，進行方式與過去所參加過的會議模式差異很大，採取的是專題討論式的進行而非過去常見的議程式進行。講師只針對主題進行 1 小時左右的分析技巧說明，並將這幾天每次飛行的結果，複製到美方提供練習用的筆電供參與人員進行練習(因為管制區內不得使用私人的電腦與手機)。遇到問題可以隨時請教講師或是彼此相互討論，分析的方法與所得結果採開放的態度沒有標準答案，大家可以就空中輻射偵測量測結果嘗試以不同構想的分析流程與修正方式來進行各種分析測試，最後兩天再請參與團隊各自報告這幾天量測結果分析後所得的發現與建議。所以參與人員彼此的交流機會更多，軟體操作時也不會有跟不上進度的壓力，可以就各自的想法與講師討論可行的方法進行嘗試，講師也只會依我們提出的構想，提供建議的操作方式並陪同一起嘗試作業，不會對於是否可行提出評論，因此參與人員必須主動提出自己的想法與問題並積極參與練習，透過專題實作作業，更加了解軟體的各項功能操作細節。

#### 1. 心得

- (1) 國際原子能總署人員在會議期間均與我方同車，因此有許多機會交換對於空中輻射偵測的看法。原則上國際原子能總署本身不發展空中輻射偵測技術，只是統合與協調各國間的技術能力與相互支援的能量。其中 **Dr. Smith** 提到他觀察這次會議的結果，包括美國、挪威、加拿大、法國等國家投注於空中輻射偵測的技術人力似乎只集中在少數幾人，且這些人均呈現老化的現象，這對該技術的能力維持是個警訊，但也看到有些國家已經開始在準備因應。例如挪威這次共有 8 人參與(四位數據分析人員與四位駕駛)，除總負責的 **Dr. Morten Sickel** 是老面孔外，其餘人員均是第一次參與。美國幾位資深工程師也陸續退休，因此也開始讓年輕人主導各項活動的進行。空中輻射偵測因為技術門檻較高，且需要不同技術背景如駕駛、儀器維護人員、偵測人員、數據分析人員等團隊協同合作進行，不是一個容易普及推廣的技術，加上國內沒有像美國一樣的污染區域，訓練較為不易，要如何才能讓這技術永續維持是個值得思考的問題。
- (2) 目前歐洲國家開始進行量測資訊統合作業，希望能透過國際原子能總署推動核子事故偵測資訊的調和制度(**data harmonization**)，因此會議期間也討論了一些相關議題。由於歐盟各國均有簽訂資訊相互通報機制，目前的作法是推動偵測數據的通報格式規範，以供各國在進行資訊交流時不會因為資料格式轉換時造

成不可預期的錯誤。相關內容在兩年前即開始討論，期間因為各國對於時間格式、衛星定位標準等有一些意見，但推動的方向則沒有太大的問題。除了資料格式一致外也必須確定各團隊的數據信賴度，因此各團隊的核種分析實驗室必須通過 ISO 17025 認證，確保實驗室的運作有一致的品質管理概念。而不確定度評估是研判偵測數據是否一致的重要依據，因此後續將會加強推動各實驗室能在量測不確定度相關的議題取得共識。相較於歐洲國家的複雜，國內幾個輻射量測實驗室平時便以國內比較實驗作為相互交流的重要平台，以維持彼此間能力的一致性。

- (3) AVID 系統不斷更新，雖然基本操做的方式與解決問題的邏輯設計改變不大，但一些功能的改進讓整體系統操作更為順手。不過因為該系統使用須具備基本的地理資訊系統概念與專有名詞的了解，加上基本操作介面的學習曲線較長，需要多練習才能理解分析的作法，而不會被操作手冊中的文字描述所困惑。這次在研習中對於鈾 241 的核種資訊擷取練習，我們對於單視窗與雙視窗的差異進行一些嘗試，確實發現在適度的視窗範圍調整下，雙視窗會得到比單視窗更為保守且清楚的分布資訊，但這也顯示使用核種分布的分析方法中，存在有相當大的不確定性，當視窗範圍的設定不同時，雖然主要污染的分布差異不大，但卻可得到不同的污染分布圖形。由於鈾 241 能量很低，量測極為不易，因此必須十分小心處理量測得到的數據。
- (4) 新版的 AVID 使用了新的資料庫格式，可以讓資料庫容量與舊版相較幾乎減半，如此更加有利於資料傳輸與雲端儲存管理。但缺點是與舊版的資料庫格式無法相容，因此，勢必要對於國內的系統全面進行升級與訓練，才能夠與美國作業方式匹配，對於各項分析問題的討論比較不會造成誤解。因此國內應該持續與美方保持交流，引進最新版本並利用定期訓練的安排，給所有參與團隊能同步提升至最新版本。
- (5) 有機會到實際的核彈坑進行輻射偵測與數據分析，是一個十分難得的經驗。雖然偵測與分析者的任務，在於區分量測污染數據中不同的污染核種分布狀況，至於為何會有這些差異，因為與核彈設計有關，相關資訊涉及機密而無從得知。但是透過這樣的實務演練過程，與各國輻射偵測專業人員交流彼此作業經驗與污染數據分析技巧，可以學習到在國內環境無法體驗的實務污染分析技術，可說是收穫良多。

## 2. 建議

基於上述心得建議事項如下:

- (1) 藉由參加本次研習的機會，從參加飛行任務會議、實際體驗空中輻射偵測作業到進行檢測數據分析作為，完整地瞭解整個空中輻射偵測的全貌，然空中輻射偵測屬高階且技術層面高的一項技術，需靠儀器裝備保養人員、直升機駕駛、偵測人員及分析人員等不同專業領域人員團體合作而成，實屬不易維持及推廣的偵測技術，應藉由國內各項訓練、演習及講習等，賡續維持國內空中輻射偵測技術，以有效執行相關任務。
- (2) 美國有豐富的空中輻射偵測經驗及適切的訓練場地，而其他國家例如挪威對於空中偵測技術也進行年輕化的安排，由於國內缺乏也不可能設置像美國這樣的大規模輻射污染訓練場所，建議國內各單位如有機會應安排同仁參與相關會議，並藉由與國外專業技術人員交流的機會，吸取國外的經驗，讓國內空中輻射偵測技術能夠傳承與永續維持。

## 四、 附錄

### 議程

AMS – NRPA Joint Survey April 12-20, 2018 rev 04/02/18

### **AMS – NRPA Joint Survey** **April 12-20, 2018 – Las Vegas, NV**

### **Advanced Data Analysis Workshop** **April 16-20, 2018 - Las Vegas, NV**

#### **Participants**

Norwegian Radiation Protection Authority (NRPA)  
National Nuclear Security Administration Aerial Measuring System NNSA AMS)  
Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN-France)  
Atomic Energy Council (AEC – Taiwan ROC)  
International Atomic Energy Agency (IAEA)  
Natural Resources Canada (NRCAN – Canada)

#### **Locations**

The survey team operations and advanced data processing workshop will be collocated,  
Monday, Tuesday, Wednesday, (April 16, 17, 18) - Desert Rock Airport  
Thursday, Friday (April 19, 20) – North Las Vegas Airport

#### **Rules**

***IMPORTANT NOTE: Private laptops, Cell phones (or ANY recording devices), Portable data storage devices, Firearms, Alcohol, Controlled Substances, and Cameras are strictly Prohibited in the limited areas of NNSA.***

- Photo Identification is required at time of badging. Please bring your passport.
- Badges will be returned at the end of each day and reissued the following morning.
- A group photo will be taken at the Desert Rock Airport
- Smoking is only permitted in designated areas, so please refrain from smoking unless in a designated area.
- Cell phones are prohibited inside each facility (as noted above), so if someone needs to reach you please have them call (702) 295-8001 and leave a message with the person answering the phone. The message will be passed directly to your escort.

**Caution:** The survey areas at the NNSA are 3, 8&10, 11, 18, 30. All the flight are going to be at 150feet AGL, except Area 11 where we will fly at 50 feet AGL. Speed 70 knots. The area availability will be confirm every day during the 08:15 phone call with OCC.

**Monday, April 16, 2018 – Desert Rock Airport (DRA)**

***NOTE: Personal Laptops, Firearms, Alcohol, and Cameras are Strictly Prohibited.***

07:30	<b>Meeting Kim Skarda and Piotr Wasiolek at Mercury Badge Office (see attached maps of direction from Las Vegas and Badge Office Location)</b> NNSS access badges distributed for AEC, IAEA, IRSN, NRCan
08:00	DOE Bell 412 landing at DRA – pilots
08:00 - 08:30	Welcome, Introductory Comments (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan, AMS) Aviation and General Safety Briefing/Security Briefing (Aviation/AMS),
08:30 - 09:00	Preflight checks and Mission Briefings – pilots, operators, and observers
<b>09:00 - 11:30</b>	<b>Flight 1 – NRPA and AMS: Area 3 (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>09:00 - 11:30</b>	<b>AVID Refresher – Dan Haber and Jez Stampahar Altitude Spiral data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan)</b>
11:30 - 12:30	Lunch at Mercury Cafeteria/Helicopter refueling
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Flight 2 - NRPA and AMS: Area 11 Survey (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Area A data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan)</b>
15:00 - 16:00	Afternoon Missions Debriefing
16:00	Helicopters depart to RSL-Nellis – End of Day

**Tuesday, April 17, 2018 – Desert Rock Airport (DRA)**

***NOTE: Personal Laptops, Firearms, Alcohol, and Cameras are Strictly Prohibited.***

07:30	Teams at Desert Rock Airport
08:00	DOE Bell 412 landing at DRA - pilots
08:00 - 08:30	Preflight checks and Mission Briefings – pilots, operators, and observers
<b>08:30 - 11:00</b>	<b>Flight 3 – NRPA and AMS: Area 8&amp;10 (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>08:30 - 11:00</b>	<b>Area B data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCAN)</b>
11:00 - 12:30	Lunch at Mercury Cafeteria/Helicopter refueling
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Flight 4 - NRPA and AMS: Area 18 Survey (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Area C data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCAN)</b>
15:00 - 16:00	Afternoon Missions Debriefing
16:00	Helicopters depart to RSL-Nellis - EOD

**Wednesday, April 18, 2018 – Desert Rock Airport (DRA)**

***NOTE: Personal Laptops, Firearms, Alcohol, and Cameras are Strictly Prohibited.***

07:30	Teams at Desert Rock Airport
08:00	DOE Bell 412 landing at DRA - pilots
08:00 - 08:30	Preflight checks and Mission Briefings – pilots, operators, and observers
<b>08:30 - 11:00</b>	<b>Flight 5 – NRPA and AMS: Area 18 (cd) (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>08:30 - 11:00</b>	<b>Area D data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCAN)</b>
11:00 - 12:30	Lunch at Mercury Cafeteria/Helicopter refueling
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Flight 6 - NRPA and AMS: Area 30 Survey (NRPA operator and AMS operator/escort)</b>
<b>12:30 - 15:00</b>	<b>Area E data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCAN)</b>
15:00 - 16:00	Afternoon Missions Debriefing
16:00	Helicopters depart to RSL-Nellis – End of Day

**Thursday, April 20, 2018 – North Las Vegas Airport (2730 Airport Dr, North Las Vegas, NV 89032)**

- 07:30 All AMS activities participants (NRPA, IRSN, AEC, IAEA, NRCan, AMS) arrive at North Las Vegas Airport located at 2730 Airport Dr, North Las Vegas, NV 89032
- 08:00 DOE Bell 412 lands at North Las Vegas Airport
- 08:00 - 08:30 Mission/Flights Overview (Lake Mohave – spiral; Government Wash): maps, setups (AMS)
- 09:00 - 11:30** **Flight 7 - Government Wash Survey – NRPA and AMS**  
**09:00 - 11:30** **Area E data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan)**
- 11:30 - 2:30 Lunch – everybody-location TBD
- 12:30 - 15:00** **Flight 8 - Altitude Spiral Lake Mohave – NRPA and AMS**  
**12:30 - 15:00** **Government Wash data processing (NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan)**
- 15:00 - 16:30 Review of the collected data(NRPA, AEC, IAEA, IRSN, NRCan, AMS)
- 17:00 End of Day (EOD)

**Caution: Parallel Activities**

**Friday, April 20, 2017 – Remote Sensing Laboratory-Nellis**

**NRPA Equipment Specialists ONLY**

- 08:00 Subset of NRPA team arrives to RSL for equipment de-installation and packing
- 08:00 - 12:00 NRPA equipment de-installation and packing

**Friday, April 20, 2017 – North Las Vegas Airport**

**NRPA, IRSN, AEC, IAEA, AMS**

- 08:00 NRPA, IRSN, AEC, IAEA, NRCan, AMS arrive at the North Las Vegas Airport
- 08:00 - 12:00 Survey and Workshop After-Action, Project report assignments, Plans for the future.
- 12:00 END of Survey